

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
katedra energetiky

**Ověření provozních parametrů napájecího
čerpadla bloku 110 MWe**

**Operation Parameter Verification of
Feedwater Pump of Unit 110 MWe**

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Roman LODER
Ing. Radim Janalík, CSc.

Ostrava 2009

Zadání bakalářské práce

Student: **Roman Loder**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R004 Provoz a řízení v energetice
Téma: **Ověření provozních parametrů napájecího čerpadla bloku 110 MWe**
Operation Parameter Verification of Feedwater Pump of Unit 110 MWe

Zásady pro vypracování:

- a) Textová část bude obsahovat :
- Popis způsobu měření charakteristik NČ (dopravní výška, účinnost)
 - Měřené veličiny a způsob jejich měření na NČ
 - Zpracování naměřených hodnot při provozním měření NČ
 - Vyhodnocení získaných výsledků z ověřovacího měření
- Grafická část bude obsahovat :
- Schéma NČ s vyznačením potřebného měření pro zadané ověření
 - Grafické vyhodnocení měřených charakteristik

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] RAJNIAK a kolektiv: *Tepelno-energetické a emisné meranie*. Ister Science, 1997.
[2] AMBROS, F.: *Experimentální metody a technika*. Praha, ČVUT, 1993
[3] ČSN EN ISO 9906 : *Hydrodynamická čerpadla – Přejímací zkoušky hydraulických výkonových parametrů – Stupeň přesnosti 1 a 2*
[4] ČSN EN ISO 5167: *Měření průtoků tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu*. 2003.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Janalík, CSc.**


Datum zadání: 29.09.2008

Datum odevzdání: 22.05.2009





prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

LODER, R. Ověření provozních parametrů napájecího čerpadla bloku 110 MWe. Ostrava: katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 32 s. Bakalářská práce, vedoucí Ing. Radim Janalík, CSc.

Bakalářská práce se zabývá metodikou ověření parametrů napájecího čerpadla bloku 110 MWe, v provozních podmínkách. V úvodu, je definováno napájecí čerpadlo, provozní charakteristiky čerpadla a způsob měření veličin. Na základě naměřených veličin je vyhotovena reálná charakteristika čerpadla a porovnána s garantovaným bodem čerpadla prezentovaným výrobcem. Porovnáním zhodnotíme, zda parametry výrobku odpovídají.

ANNOTATION OF THESIS

LODER R., Operation Parameter Verification of Feedwater Pump of Unit 110 MWe. Ostrava: Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2003, 32 p. Thesis, head: Ing. Radim Janalík, CSc.

The thesis deals with methodology of parameters verification of feedwater pump 110 Mwe unit in operating conditions. Feedwater pump, its operating characteristics and method of values measurement are defined in the introduction. Based on measured values an actual pump characteristic is made out and it is compared with the guaranteed point of the pump given by manufacturer. By comparing we review whether the product parameters match.

Obsah

1. Úvod	- 8 -
2. Napájecí čerpadla.....	- 9 -
3. Popis napájecího čerpadla	- 11 -
3.1. Stator	- 11 -
3.2. Rotor	- 11 -
3.3. Ucpávky	- 12 -
4. Provozní charakteristiky čerpadla	- 13 -
5. Měření tepelně technických veličin.....	- 13 -
5.1. Měření průtoku ^[4]	- 14 -
5.2. Měření tlaku	- 17 -
5.3. Měření teploty	- 19 -
5.4. Měření otáček	- 19 -
5.5. Ostatní měření	- 20 -
6. Měrná energie čerpadla.....	- 20 -
7. Příkon čerpadla	- 21 -
8. Dopravní výška.....	- 22 -
9. Přepočet veličin na specifikované otáčky	- 23 -
9.1. Otáčky během zkoušek.....	- 23 -
10. Chyby v měření	- 24 -
10.1. Systematické chyby	- 24 -
10.2. Hodnoty tolerančních součinitelů	- 24 -
11. Předmět měření.....	- 25 -
11.1. Hydraulická spojka.....	- 26 -
11.2. Pohon čerpadla.....	- 27 -
12. Ověřované hodnoty	- 28 -
13. Zpracování hodnot	- 28 -
13.1. Vyhodnocení měření.....	- 29 -
13.2. Určení tolerančního kříže.....	- 30 -
14. Závěr	- 31 -
15. Seznam použité literatury:	- 32 -

Seznam symbolů a označení

Značka	Jednotka	Veličina
C	bez rozměru	součinitel průtoku
D	m	průměr potrubí
d	m	průměr potrubí
g	m.s^{-2}	gravitační zrychlení
H	m	dopravní výška
h	m	dopravní výška
K	bez rozměru	typové číslo
L	m	délka
n	s^{-1} , min^{-1}	počet otáček
P	W	příkon
p	Pa	tlak tekutiny
Q	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$	(objemový) průtok
R_e	bez rozměru	Reynoldsovo číslo
S	m^2	průřez
v	m.s^{-1}	střední rychlost kapaliny
Y	J.kg^{-1}	měrná energie
α	bez rozměru	součinitel
β	bez rozměru	poměr průměru
ϵ	bez rozměru	součinitel expanze
η	bez rozměru	účinnost
ν	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$	kinematická viskozita
ρ	kg.m^{-3}	hustota
t	$^{\circ}\text{C}$	teplota
F	N	síla

Seznam zkratek

Zkratka	Název
NČ	napájecí čerpadlo
CH	chladič zahlcovací vody ucpávky
ZS	zubová spojka s mezikódem
PČ	podávací čerpadlo
PČ2	alternativní řešení pohonu podávacího čerpadla od parní turbíny
A	přítok z napájecí nádrže
B	výtlač do parního kotle
C	minimální odběr
D	odvod od prohřívání
E	odvod od vyr. zařízení do napájecí nádrže
F	odvod do beztlakového prostoru (při spouštění)
G	meziodběr, generátor
R-C	Rankin-Clausiusův parní oběh
ρ_1	měrná hmotnost
T	turbína
K	kotel
TN	turbonapajčka
EN	elektronapajčka
Ko	Kondenzátor

Přehled požitých indexů

Značka	Název
G	ověřovaný
H	pro celkovou dopravní výšku
m	střední, hmotnostní
Q	Průtok
e	Elektromotor
s	Střední
sa	na sání
sp	Specifikované
T	převedený na specifikované hodnoty
v	na výtlačku, objemový
n	Otáčky

1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá metodikou ověření parametrů napájecího čerpadla bloku 110 MWe, v provozních podmínkách. V teoretické části je definováno napájecí čerpadlo, k čemu slouží a rozdělení z hlediska pohonu. Dále jsou prezentovány provozní charakteristiky čerpadla a způsoby měření tepelně – technických veličin, které slouží k sestrojení (stanovení) reálné charakteristiky čerpadla.

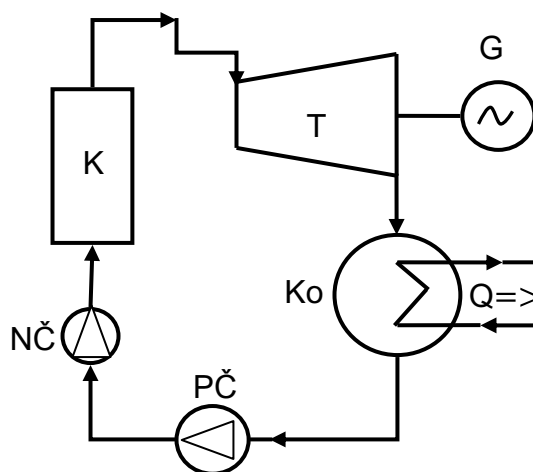
Měření ověřovaného napájecího čerpadla provedla katedra energetiky, od které byly naměřené hodnoty veličin převzaty a dále zpracovány. Předmětné naměřené hodnoty jsou vyhodnoceny a přepočteny podle normy ČSN EN ISO 9906. Na základě nových upravených hodnot je vytvořen graf reálné provozní charakteristiky napájecího čerpadla. Dle uvedených hodnot ověřovaného bodu výrobce/dodavatele, je podle výše uvedené normy sestrojen toleranční kříž.

Z grafického porovnání naměřené provozní charakteristiky čerpadla s tolerančním křížem, zhodnotíme, zda ověřované napájecí čerpadlo splňuje zaručované parametry, $H = f(Q)$, $P_v = f(Q)$ uváděné výrobcem/dodavatelem.

2. Napájecí čerpadla

V systému R-C parního oběhu elektrárny, výtopny nebo teplárny se nachází několik energetických zařízení, mezi které patří zejména kotel, ve kterém se přeměňuje chemická energie, převážně spalováním tuhého, plynného nebo kapalného paliva na tepelnou energii. Pomocí takto získané tepelné energie vyrábíme z kapaliny páru. Z kotle se vyrobená pára přivádí do parní turbíny, kde se tepelná energie přeměňuje na mechanickou. Následně, je pára z parní turbíny odvedena do chladících věží, kde kondenzuje a zkondenzovaná kapalina se odvádí do kondenzačních nádrží. Z kondenzačních nádrží, je tato kapalina podávacím čerpadlem dopravována do napájecího čerpadla, které následně kapalinu dopravuje zpět do kotle. Schéma R-C parního oběhu na obrázku (2.1).

Napájecí čerpadlo je jen jedna část ze systému parního oběhu v elektrárně, výtopně nebo teplárně. Je to energetické zařízení, které mění tlak kapaliny dodávané z podávacího čerpadla zpravidla z 0,5 MPa na 12 – 20 MPa a současně slouží k čerpání této kapaliny do membránové stěny kotle, kde se kapalina vypařuje.



Obrázek 2.1- schéma R-C parního oběhu

Je velice důležitým zařízením, kdy na jeho správné a spolehlivé činnosti závisí bezpečný chod celé elektrárny, výtopny nebo teplárny. Proto napájecí čerpadla mají být nejméně dvě, každé schopné dodat dostatečné množství vody do kotle pro jeho bezpečný chod [3].

Z hlediska pohonu můžeme napájecí čerpadla rozdělit do dvou skupin a to:

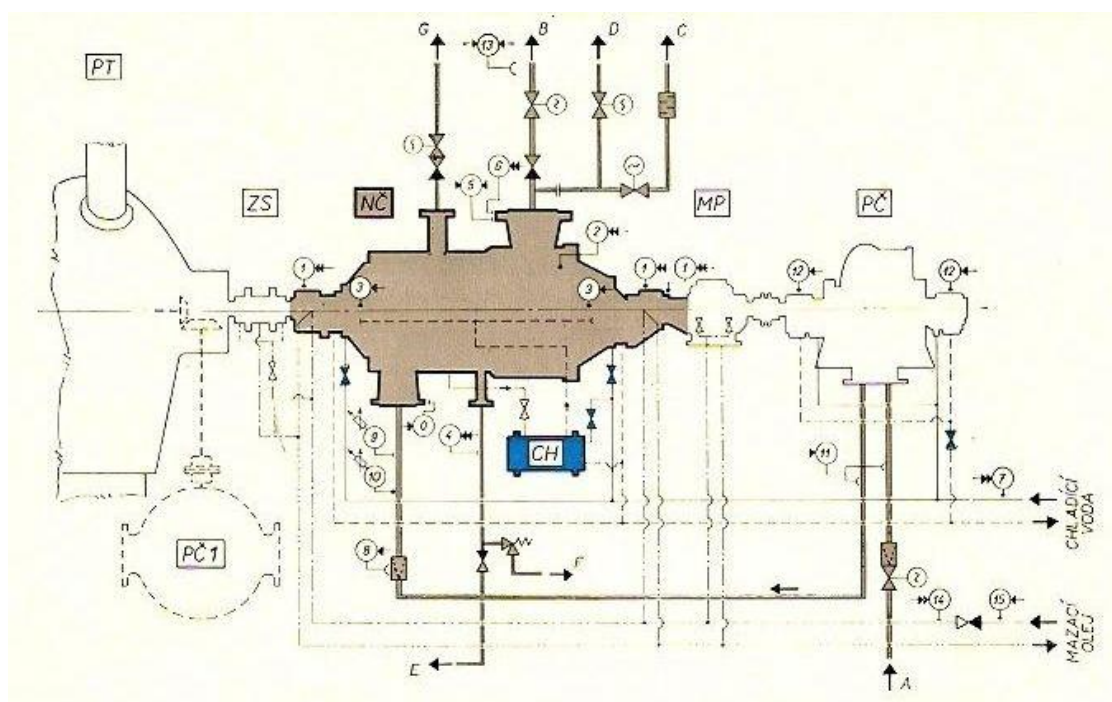
- napájecí čerpadla poháněná parní turbínou – turbonapáječky (TN),

- napájecí čerpadla poháněny elektromotorem – elektronapáječky (EN).

Neméně důležité je, že soubor napájecích čerpadel by měl být nezávislý na témž poháněcím ústrojí. Z tohoto a ekonomického hlediska je vhodné mít jeden elektrický pohon a druhý parní pohon, respektive se pro bloky o výkonu 200 MWe a výše navrhuje pro dodávku napájecí vody do kotle napájecí čerpadlo poháněné parní turbínou a jako záložní, slouží čerpadla poháněná elektromotorem. Každé napájecí čerpadlo má jiný druh pohonu. Elektrický pohon je také nezbytný, nemá-li parní kotel při spouštění tlak páry^[3].

Pro teplárny a výtopny, respektive bloky o výkonu 110 MWe a nižší se zpravidla navrhuje pro napájení kotle napájecí čerpadlo poháněné elektromotorem a jako záloha slouží taktéž čerpadlo na elektromotor. Taktéž v tomto energetickém systému nemusí být podávací čerpadlo, toto se zpravidla používá pro systémy s větším výkonem.

Příklad možného zapojení napájecího čerpadla poháněné parní turbínou v energetickém systému (elektrárny) pro dodávku vody do parního kotle, je vyobrazen na obrázku (2.2).



Obrázek 2.2 - příklad schématu uspořádání napájecího čerpadla [6]

3. Popis napájecího čerpadla

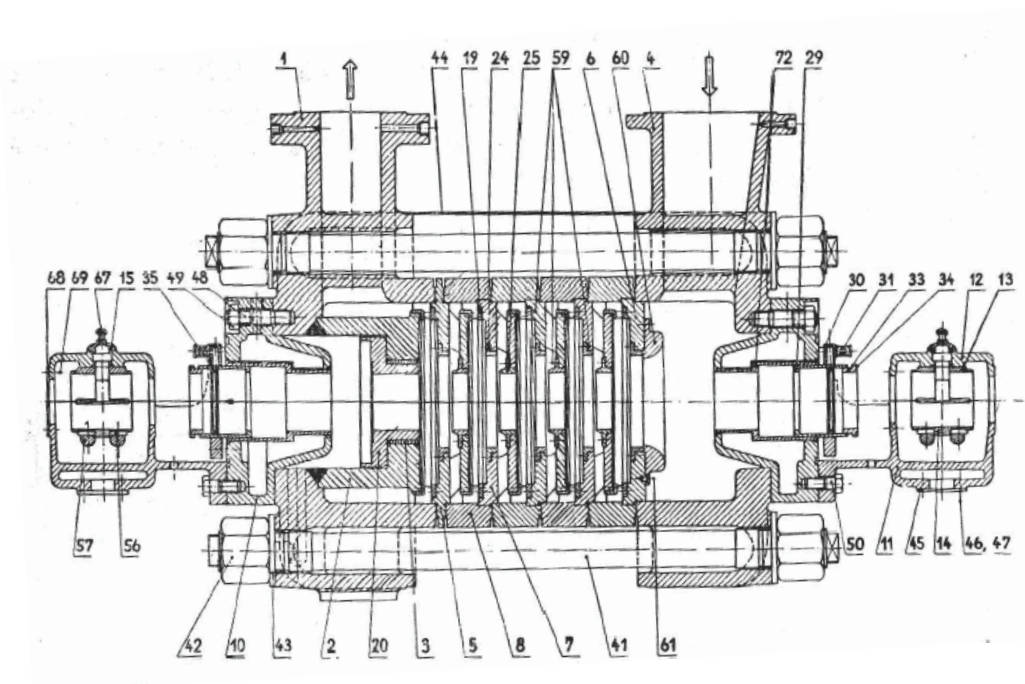
Hlavními částmi vysokotlakého napájecího čerpadla jsou:

- a) stator čerpadla,
- b) rotor čerpadla,
- c) ucpávková a ložisková pouzdra, pojistný ventil, armatury, tlakoměry a el. Motor

3.1. Stator

Hlavní částí statoru je plášť čerpadla, na kterém je přivařeno sací a výtlačné hrdlo. Další součásti jsou mezistěny, sedlo odlehčovacího kotouče, převodní lopatkové věnce, ucpávky hřídele. Další součástí statoru je vysokotlaké víko, ucpávková tělesa, dělené ložiskové konzoly. U vstupu vody do prvního stupně je dýza.

Stator je držen pohromadě stahovacími svorníky. Příklad vyobrazení statoru je na obrázku (3.1.1)

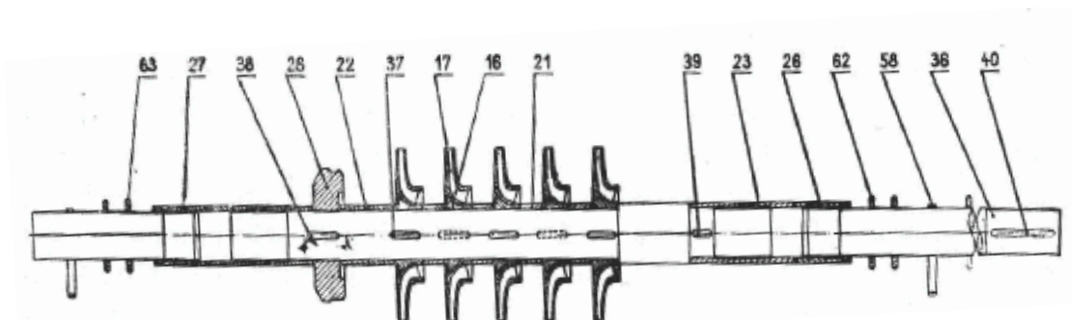


Obrázek 3.1.1- Stator (41- svorníky; 44 – plechový kryt čerpadla) [3]

3.2. Rotor

Hlavní součástí rotoru je hřídel, na níž jsou nasazena a pomocí per pojištěna oběžná kola, ostřikovací kroužky, škrticí a rozpěrací pouzdro,

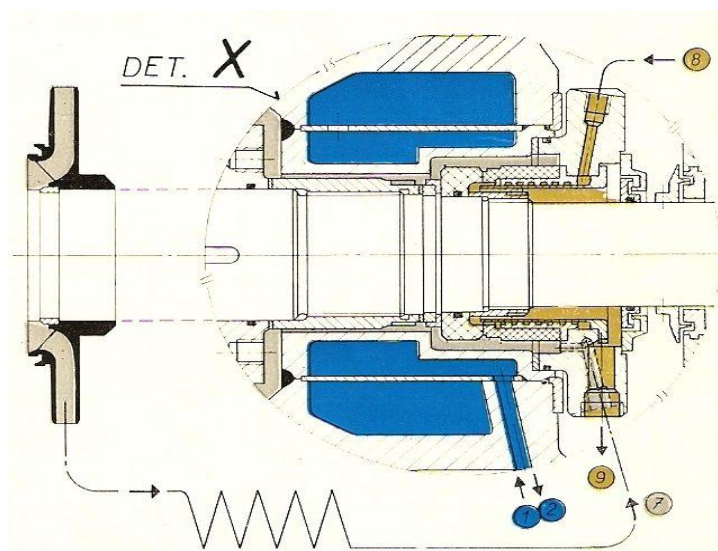
odlehčovací kotouč, ucpávkové kroužky a zajišťovací matice. Hřídel rotoru je uložena oboustranně ve dvoudílných pánvích kluzných ložisek. Vyobrazení samotného rotoru je na obr. (3.2.1).



Obrázek 3.2.1- rotor (17,38 – oběžná kola; 40 - ocelová hřídel; 21,22,23 a 26 - krycí a distanční trubky; 28 – odlehčovací kotouč; 62,63 – odstříkovací kroužky; 37,39 – pojistná péra na hřídel) [3]

3.3. Ucpávky

Na sání a výtlačku čerpadla jsou umístěny ucpávkové komory, zamezující nasávání vzduchu a úniku vody z tělesa čerpadla. Utěsnění rotoru vůči statoru v místech, kde rotor vystupuje z hydraulické části čerpadla do ložiskových konzol, je provedeno speciálními mechanickými ucpávkami.



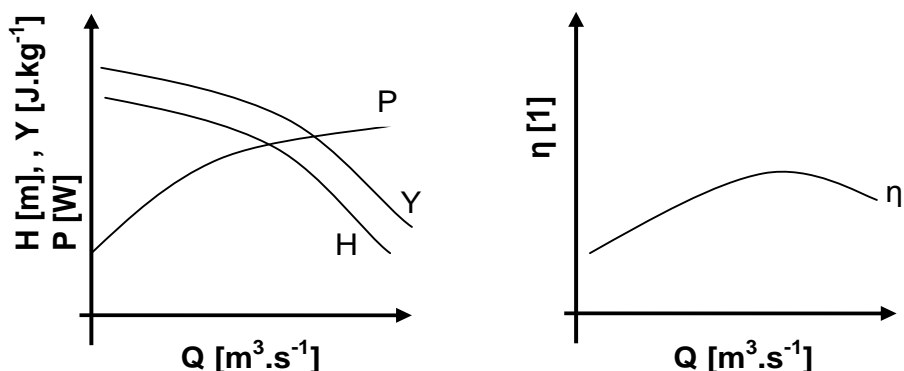
Obrázek 3.3.1- detail mechanické ucpávky (1 – přívod chladicí vody; 2 – odvod chladicí vody; 7 – přívod bezztrátové napájecí vody pro vnitřní chladicí okruh ucpávky; 8 – přívod chladicí vody pro vnější chladicí okruh ucpávky; 9 – odvod chladicí vody z ucpávky) [6]

4. Provozní charakteristiky čerpadla

Provozní charakteristiky čerpadel zahrnují souvislost hlavních parametrů, Y - měrná energie [J.kg^{-1}] $\div Q$ - průtok [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$], p - tlak [Pa] $\div Q$ - průtok [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$], nebo H - dopravní výška [m] $\div Q$ - průtok [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$], η - účinnost [1] $\div Q$ - průtok [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$] a parametrů vystihujících provozní vlastnosti čerpadla z hlediska pohonu (příkon, moment, otáčky) ekonomie provozu (účinnost) a kavitačních vlastností^[5].

Pro provozní účely máme charakteristiku parametrů p - tlak [Pa] $\div Q$ - průtok [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$], nebo H - dopravní výšku [m] $\div Q$ - průtok [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]. Pro teoretické potřeby se obecně vynáší Y - měrná energie [J.kg^{-1}] $\div Q$ - průtok [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$].

Je to diagram, kdy na osu X nanášíme množství průtoku Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$], na osu Y dopravní výšku H [m], nebo měrnou energii Y [J.kg^{-1}]. Křivka $H - Q$ nebo $Y - Q$ má tvar podobný parabole, liší se pouze ve složce gravitačního zrychlení, kterou má navíc v sobě obsaženou měrná energie, vztah (7.1). Příklad obecných diagramů je na obr. (4.1).



Obrázek 4.1 – schéma diagramů provozních charakteristik

5. Měření tepelně technických veličin

Pro ověření parametrů napájecího čerpadla měříme tepelně technické veličiny, například průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$], tlak p [Pa , MPa], teplotu t [$^{\circ}\text{C}$], příkon P [W], otáčky n [s^{-1} , min^{-1}] a počítáme dopravní výšku čerpadla H [m]. Měrnou energii Y [J.kg^{-1}] čerpadla známe od výrobce/dodavatele, nebo ji také počítáme.

5.1. Měření průtoku ^[4]

Pojem průtok se často používá jak pro označení hmotnostního nebo objemového průtoku. Můžeme tedy rozdělit měření průtoku na:

- a) hmotnostní průtok Q_m – udává hmotnost tekutiny, které proteče potrubím za jednotku času (kg.s^{-1} , t.h^{-1}).

Způsoby přímých měření hmotnostního průtoku :

Průtokoměry založené na Coriolisově principu: Tento průtokoměr využívá tzv. Coriolisovy síly, která vzniká ve vibrujících měřicích trubicích při průtoku hmotného média. Fázový posuv v rezonančním kmitání trubic, který vzniká jako důsledek působení Coriolisovy síly, je úměrný hmotnostnímu průtoku tekutiny trubicí a frekvence vlastních kmitů odpovídá hustotě tekutiny.

Tepelné hmotnostní průtokoměry: Tepelný hmotnostní průtokoměr vychází ze závislosti výměny tepla mezi zdrojem a okolím, které tvoří proudící tekutina, na hmotnostním průtoku. Existují dva typy: termoanemometry a kalorimetrické průtokoměry.

Nepřímo lze hmotnostní průtok vypočítat z objemového průtoku a ze známé hodnoty hustoty proudící tekutiny:

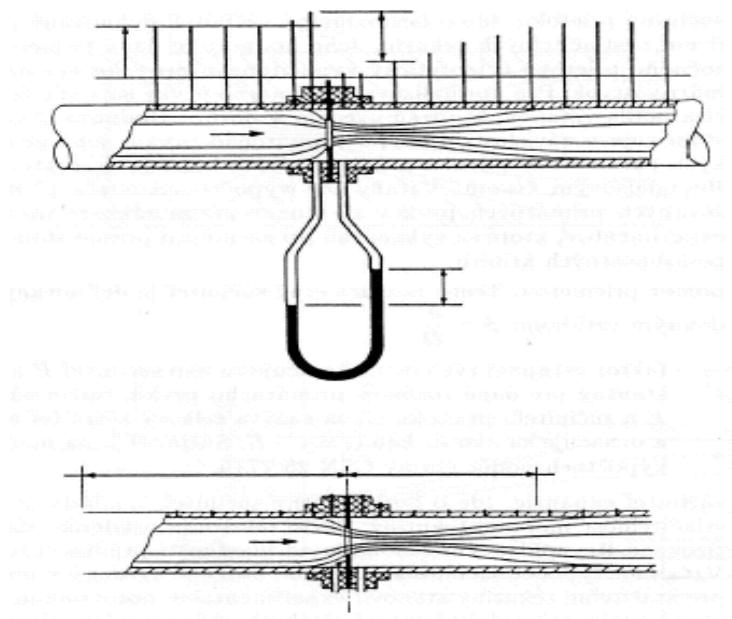
$$Q_m = Q_v \cdot \rho \quad [\text{kg.s}^{-1}, \text{t.h}^{-1}] \quad (5.1.1)$$

- b) objemový průtok Q_v – označujeme objem tekutiny, který projde potrubím za jednotku času ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$). Pro zjištění objemového průtoku se využívá měření pomocí rozdílů tlaků nebo výpočet z rychlosti proudění tekutiny v potrubí o známém průřezu. Předpokládáme, že tekutina zaplňuje celé potrubí, což nemusí vždy odpovídat skutečnosti. Při měření průtoku kapalin je někdy potřeba provádět korekci objemového průtoku na změny teploty a tlaku.

Způsoby přímých měření objemového průtoku:

Princip měření průtoku různými škrtícími prvky, například clonou, využívá skutečnosti, že při zmenšení průtokového průměru musí nastat místní zvětšení kinetické energie na úkor tlakové energie, podle obrázku (5.1.1).

Rozdíl statických tlaků před a za clonou (směr je dán směrem proudění) se měří přes odběry tlaku – jsou to otvory nebo štěrbyiny ve stěně potrubí. Přední odběr tlaku s většími hodnotami statického tlaku je „plusový odběr“, odběr za clonou s nižším statickým tlakem je „minusový“ a rozdíl tlaků je „tlaková difference“. V literatuře se clona nebo jiný škrticí prvek, spolu s příslušnými odběry tlaku, označují jako „primární prvek“. Přístroje, které měří diferenci tlaku, případně jiné termofyzikální veličiny jsou „sekundární veličiny“.



Obrázek 3.1.1 – škrticí prvky [4]

Ze zákona o zachování energie (Bernoulliho rovnice) a z rovnice kontinuity byl vyjádřen základní vztah pro výpočet hmotnostního průtoku přes primární prvek.

$$Q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \varepsilon_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho_1} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5.1.2)$$

kde: $C \dots$ je součinitel průtoku. Jde o bezrozměrný součinitel, definovaný pro proudění nestlačitelných tekutin. Jeho hodnota je daná poměrem skutečného průtoku a teoreticky vypočítaného průtoku přes daný primární prvek. Pro normalizované primární prvky se součinitel C počítá podle vztahu, které jsou uvedeny v normě. Hodnota C se v nich stanovuje v závislosti od typu primárního prvku, jeho geometrických parametrů a druhu proudění plynu, které je charakterizované Reynoldsovým číslem.

$$Re = \frac{v_s \cdot d}{\nu} \quad [1] \quad (5.1.3)$$

kde ... d - označuje průměr trubice [mm],

- v_s ...stř. hodnota proudění kapaliny [m.s⁻¹],

- ν ...kinematická viskozita [m².s⁻¹].

Pro velké hodnoty Re je proudění turbulentní, pro nízké hodnoty je proudění laminární. Při $Re \rightarrow \infty$ je proudění potenciálové. Hranice mezi těmito dvěma případy se označuje jako kritická hodnota Reynoldsova čísla. Tato hodnota je pro různé kapaliny a různé typy potrubí různá a zjišťuje se experimentálně. Kritická hodnota se obvykle pohybuje kolem hodnoty 2000. Pro proudění vody v uzavřených profilech (potrubích) mluvíme o laminárním proudění, jestliže $Re < 2320$.

- β ... poměr průměru. Tento bezrozměrný součinitel je definován v vztahem

$$\beta = \frac{d}{D} \quad [1] \quad (5.1.4)$$

- $\frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$...faktor vstupní rychlosti. Označuje se jako součinitel E a je konstantní pro dané rozměry primárního prvku. Součin součinitele E a součinitele průtoku C, se nazývá celkový součinitel průtoku a označuje se jako α , kde

$$\alpha = C \cdot E \quad (5.1.5)$$

Součinitel α se používá při výpočtech podle normy ČSN 25 7710.

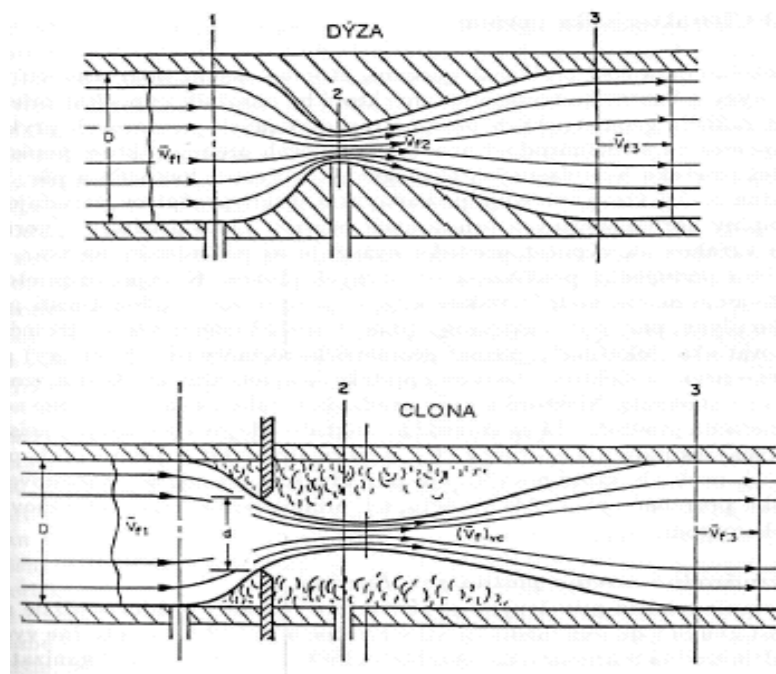
- ε_1 ...součinitel expanze. Jde o bezrozměrný součinitel. Zohledňuje se ním stlačitelnost měřené tekutiny. Závisí od druhu proudění (charakterizované Reynoldsovým číslem) a od vlastnosti proudící tekutiny.

- d ...vnitřní průměr clony, resp. hrdla dýzy nebo trubice při provozní teplotě. Předpokládá se, že provozní teplota primárního prvku se rovná teplotě tekutiny na jeho vstupu [m].

- Δp ...diferenční tlak tekutiny, který je měřený přes odběry tlaku primárního prvku [Pa].

- ρ_1 ...měrná hmotnost tekutiny, v podmínkách (tlak, teplota) před primárním prvkem [kg.m⁻³]
- Re_D ...Reynoldsovo číslo. Vyjadřuje poměr mezi setrvačnými silami a silami viskozity při proudění, přičemž čím je jeho hodnota větší, tím víc se tvar rychlostního profilu proudícího plynu před primárním prvkem blíží k tvaru rychlostního profilu ideálního plynu.

Proudění plynu – tekutiny přes dýzu a přes clonu se znázorněním vlivu setrvačných sil plynu – tekutiny na tvar proudnic. Hodnota diferenčního tlaku Δp se stanoví přímo měřením. Rovněž můžeme měřit přímo také hodnotu měrné hmotnosti při provozních podmínkách ρ , viz obrázek (5.1.2).



Obrázek 5.1.2 – dýza, clona [4]

5.2. Měření tlaku

Většina základních principů využívaných ve snímačích tlaku je již delší dobu neměnná. Zpravidla se neměří přímo tlak p [pa], nýbrž jeho silový účinek F [N], a to obvykle buď v podobě deformace pružného členu, nebo v podobě mechanického napětí, které v silově namáhaném členu vzniká. Obvykle rozlišujeme následující funkční principy a rozdělujeme je na:

- odporové piezorezistivní;

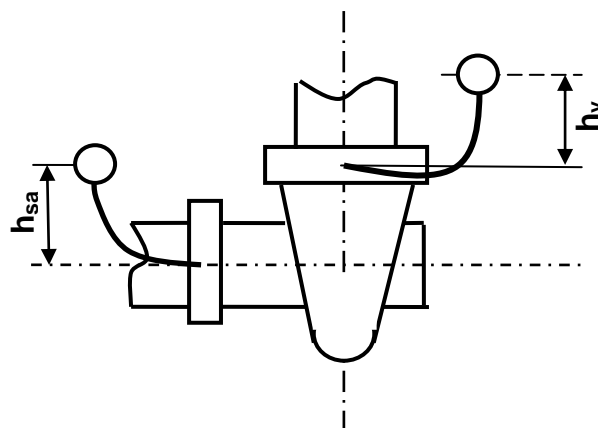
- b) odporové s tenzometry;
- c) kapacitní;
- d) piezoelektrické
- e) rezonanční;
- f) indukční;
- g) optické optoelektronický);
- h) deformační.

Dále můžeme rozdělit měření tlaku na:

- externí – snímače tlaku nejsou součástí potrubí, stroje apod.,
- provozní – snímače tlaku jsou součástí potrubí, stroje a proto neustále měří požadovaný tlak.

Změřené potřebné tlaky na sání p_{sa} [Pa] a na výtlaku p_v [Pa] se obvykle měří kapalinovými nebo deformačními tlakoměry, můžeme použít i jakýkoli jiný typ tlakoměru (viz výše uvedené rozdělení)^[4].

Při měření tlaku je potřeba naměřené hodnoty tlaku zkorigovat, o výšku vodního sloupce kapaliny v přívodním potrubí k tlakoměru. Příklad měření tlaku podle obrázku (5.2.1):



Obrázek 5.2.1 – vyobrazení výšek tlakoměrů

$$\text{v sání:} \quad p_{sa} = p'_{sa} + \rho \cdot g \cdot h_{sa} \quad [\text{Pa}] \quad (5.2.1)$$

$$\text{ve výtlaku:} \quad p_v = p'_v + \rho \cdot g \cdot h_v \quad [\text{Pa}] \quad (5.2.2)$$

kde ... p'_{sa} , p'_v - je údaj tlakoměru [Pa],
 ρ - hustota čerpané kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

g - gravitační zrychlení $[\text{m.s}^{-2}]$,

h_{sa}, h_v - polohová výška tlakoměru $[\text{m}]$,

5.3. Měření teploty

Teplotu můžeme měřit pomocí různých snímačů a přístrojů. V energetice se můžeme setkat s měřením teploty pomocí:

- a) kapalinových teploměrů: tyto fungují na principu změny roztažnosti kapalin, kdy měřený teplotní rozsah závisí na druhu kapaliny (pentan C_5H_{12} pro rozsah do -190°C až po galium pro $200 \div 1500^\circ\text{C}$),
- b) tlakové teploměry: jsou založeny převážně na změně tlaku při změně teploty. Současně umožňují přenést hodnotu měřené teploty na větší vzdálenosti,
- c) termočlánky: skládají se ze dvou drátů různých kovů na jednom konci spojených, kdy při zahřátí jednoho konce dochází ke změně termoelektrické síly mezi dvěma konci drátu. Teplotní rozsah měření závisí na složení termočlánku Cu-CuNi ($-200 \div +400^\circ\text{C}$), Pt-PtRh ($0 - 1300^\circ\text{C}$).
- d) polovodičové odporové senzory teploty: využívají při měření teploty, závislosti odporu na teplotě. Teplotní rozsah platinových odporových teploměrů ($-200 \div 800^\circ\text{C}$)

Zpravidla teplotu měříme ve stupních celsia $[\text{C}]$.

5.4. Měření otáček

Otáčky napájecího čerpadla označujeme $n [\text{s}^{-1}, \text{min}^{-1}]$. Můžou být měřeny externě nebo provozně. Z hlediska principu měření je můžeme rozdělit na tyto kategorie:

- a) mechanické,
- b) optické,
- c) elektronické.

5.5. Ostatní měření

Mezi ostatní měření se řadí měření hluku, které se provádí dle metodiky uvedené v normě ČSN EN ISO 112 02 „Akustika – hluk vyzařovaný stroji a zařízeními“ a dle související normy ČSN ISO 3746. Další veličinou je měření vibrací, které je upraveno normou ČSN EN ISO 9905 a ČSN ISO 10816-3.

Rozsah výše uvedených měření je upraven dohodou mezi dodavatelem a odběratelem.

6. Měrná energie čerpadla

Měrná energie Y [J.kg^{-1}] čerpadla je energie, kterou musíme dodat 1 kg kapalině, tj. energie, která se rovná rozdílu měrných energií mezi sáním a výtlačkem čerpadla. Skládá se z tlakové, kinetické a polohové složky, viz vztah (6.7).^[4]

Potřebné tlaky p_{sa} a p_v [Pa] se obvykle měří kapalinovými nebo deformačními tlakoměry, je možné použít libovolné typy tlakoměru, jak elektronické snímače a převodníky tlaku. Při měření je potřeba údaje tlakoměrů zkorigovat viz kapitola (5.2).

Výpočet měrné energie čerpadla určíme z rozdílů měrných energií ve výtlačku a sání, podle vztahu:

$$Y = Y_V - Y_S \quad [\text{J.kg}^{-1}] \quad (6.1)$$

tedy:

$$Y_S = \frac{p_{sa}}{\rho} + \frac{v_s^2}{2} + g \cdot h_s \quad [\text{J.kg}^{-1}] \quad (6.2)$$

kde p_{sa} - měřený tlak v sání [Pa]

v_v - střední rychlost kapaliny v sání [m.s^{-1}]

h_s - výška hladiny v sacím potrubí [m]

g - gravitační zrychlení [m.s^{-2}]

ρ - hustota čerpané kapaliny [kg.m^{-3}]

$$\text{Rychlosti kapaliny lze počítat ze vztahu: } v = \frac{Q}{S} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (6.3)$$

kde ... Q je průtok [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$],

S ... průřez [m^2], výtlačného potrubí v místě tlakového snímače.

Po dosazení:
$$Y_S = \frac{p_s}{\rho} + \frac{Q^2}{2 \cdot S_2^2} + g \cdot h \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.4)$$

dále:

$$Y_V = \frac{p_v}{\rho} + \frac{v_v^2}{2} + g \cdot h_v \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.5)$$

kde p_v - měřený tlak v sání [Pa]

v_v - střední rychlost kapaliny ve výtlaoku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

h_v - výška hladiny ve výtlačném potrubí [m]

g - gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

ρ - hustota čerpané kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Obdobně upravíme vztah (6.4) pro výtlač a po dosazení dostaneme:

$$Y_V = \frac{p_v}{\rho} + \frac{Q^2}{2 \cdot S_2^2} + g \cdot h \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.6)$$

Celkovou měrnou energii čerpadla určíme ze vztahu (4.4.1). Po dosazení můžeme také napsat vztah:

$$Y = \frac{p_v - p_s}{\rho} + \frac{v_v^2 - v_s^2}{2} + (h_v - h_s) \cdot g \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.7)$$

7. Příkon čerpadla

Příkon čerpadla P [W] a vypočítá se ze vztahu:

$$P = \frac{P_t}{\eta} \quad [\text{W}] \quad (7.1)$$

kde ... P_t - je výkon odevzdaný čerpané kapalině [W]

η - celková je účinnost čerpadla [1]

Výkon P_t vypočítáme podle vztahu:

$$P_t = \rho \cdot Q \cdot Y \quad [\text{W}] \quad (7.2)$$

Po dosazení můžeme psát upravenou rovnici (6.1.) a to:

$$P = \frac{\rho \cdot Q \cdot Y}{\eta} \quad [\text{W}] \quad (7.3)$$

Nebo se určuje měřením elektrického příkonu elektromotoru a vypočítá se podle vztahu:

$$P = P_e \cdot \eta_{pohonu} \quad [\text{W}] \quad (7.4)$$

kde P_e ...měřený příkon elektromotoru $[\text{W}]$

η_{pohonu} – celková účinnost pohonu $[1]$

8. Dopravní výška

Dopravní výška H [m], se využívá pro provozní účely, ale v literatuře se v poslední době uvádí parametr měrná energie viz kapitola [6]. Jejich vzájemný vztah je:

$$Y = H \cdot g \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (8.1)$$

úpravou vztahu (8.1) dostaneme:

$$H = \frac{Y}{g} \quad [\text{m}] \quad (8.2)$$

kde Y ... je měrná energie $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

g – gravitační zrychlení $[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$

Celková sací dopravní výška:

$$H_s = h_s + \frac{p_s}{\rho \cdot g} + \frac{v_s^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (8.3)$$

Celková výtlačná dopravní výška:

$$H_v = h_v + \frac{p_v}{\rho \cdot g} + \frac{v_v^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (8.4)$$

Celkovou dopravní výšku určíme z rozdílu výtlačné a sací výšky:

$$H_c = H_v - H_s \quad [\text{m}] \quad (8.5)$$

Po úpravě rovnice (8.5) můžeme psát:

$$H_c = h_v - h_s + \frac{p_v - p_s}{\rho \cdot g} + \frac{v_v^2 - v_s^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (8.6)$$

9. Přepočet veličin na specifikované otáčky

Parametry veličin pro charakteristiku daného napájecího čerpadla a naměřené parametry pro zhotovení reálné charakteristiky musí být definované při stejných otáčkách. Protože regulace napájecího čerpadla může být:

- a) hydrospojku, nebo
- b) frekvenčním měničem,

Což způsobuje, že čerpadlo je provozováno při různých otáčkách a stavech. Možné porovnání a ověření v provozu při regulaci výše uvedených způsobů čerpadla, není možné bez přepočtu na specifikované otáčky n_{sp} .

Všechny naměřené údaje získané při zkušebních otáčkách n odchylovajících se od specifikovaných otáček n_{sp} musí být převedeny na základnu specifikovaných otáček n_{sp} . Jestliže odchýlení zkušebních otáček n od specifických otáček n_{sp} nepřesahuje dovolené změny uvedené v kapitole (9.1), mohou být naměřené hodnoty průtoku Q , celkové dopravní výšky čerpadla H , příkonu a účinnosti η převedeny s použitím vztahů^[1]:

$$Q_T = Q \cdot \frac{n_{sp}}{n} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (9.1)$$

$$H_T = H \cdot \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^2 \quad [\text{m}] \quad (9.2)$$

$$P_T = P \left(\frac{n_{sp}}{n} \right)^3 \cdot \frac{\rho_{sp}}{\rho} \quad [\text{W}] \quad (9.3)$$

$$\eta_T = \eta \quad [1] \quad (9.4)$$

9.1. Otáčky během zkoušek

Pokud není dohodnuto jinak, smějí být zkoušky pro stanovení průtoku, celkové dopravní výšky čerpadla a příkonu provedeny při zkušebních otáčkách, které leží v rozmezí 50 % a 120 % specifikovaných otáček. Dbát by se mělo na to, že odchýlení o více než 20 % od specifikovaných otáček může značně ovlivnit účinnost^[1].

10. Chyby v měření

Každé měření je zatíženo chybami, a to dokonce i tehdy, když postup měření a použité měřicí přístroje a také metody rozboru plně odpovídají existujícím předpisům ^[1].

10.1. Systematické chyby

Chyba měření závisí částečně na zbytkové nepřesnosti přístroje nebo použité metody měření. Použity smějí být pouze měřicí přístroje nebo metody, o nichž je na základě kalibrace nebo odkazů na jiné normy známo, že zabezpečí měření se systematickou chybou, která nepřesáhne maximální dovolené hodnoty uvedené v tabulce (10.1.1) ^[1].

Veličina	Dovolená hodnota pro	
	St. přesnosti 1	St. přesnosti 2
Průtok	±1,5 (%)	±2,5 (%)
Otáčky	±0,35 (%)	±1,4 (%)
Točivý moment	±0,9 (%)	±2,0 (%)
Celková dopr. výška	±1,0 (%)	±2,5 (%)
Příkon pohonu	±1,0 (%)	±2,0 (%)

tabulka 10.1.1

10.2. Hodnoty tolerančních součinitelů

U každého čerpadla jsou kvůli výrobním nepřesnostem při jeho zhotovení na výrobních výkresech geometrické tolerance. Při porovnání výsledků zkoušek se zaručovanými hodnotami (pracovních bodech), musí být proto připuštěny tolerance, zahrnující možné chyby mezi provozními údaji zkoušeného čerpadla a čerpadla bez jakýchkoli výrobních nepřesností. Na zaručovaný pracovní bod Q_G, H_G , musí být aplikovány toleranční součinitelé dle tabulky 10.2.1 ^[1].

Veličina	Značka	Dovolená hodnota pro	
		St. přesnosti 1	St. přesnosti 2
Průtok	t_Q	±4,5 (%)	±8 (%)
Celková dopr. výška	t_H	±3 (%)	±5 (%)
Účinnost čerpadla	t_n	-3 (%)	-5 (%)

tabulka 10.2.1

11. Předmět měření

Předmětem ověřovaného měření je nové napájecí čerpadlo KSB, typu HGC 5/12. Jedná se o horizontální, radiálně dělené, vícestupňové článkové čerpadlo s radiálními oběžnými koly s jednoduchým nebo dvojitým vstupem. Poháněné elektromotorem přes hydrospojku, která slouží k regulaci nastavení čerpadla.

Používá se k čerpání napájecí vody a kondenzátu v elektrárnách a průmyslových systémech. Konstruované pro následující parametry tabulka 11.1 a 11.2. Oblast použití/čerpaná kapalina: Napájecí voda

Provozní bod

jmenovitý bod – Meziodběr uzavřený

	Jednotka	Navrhovaný bod podle ISO 9906/2
Pracovní teplota	°C	158
Hustota	kg.dm ⁻³	0,9092
Tlak v napájecí nádrži	MPa abs	0,5882
NPSH-zařízení	m	15,57
	MPa	0,1388
NPSH-3% čerpadla	m	5,43
	MPa	0,04841
Tlak v sacím hrdle	MPa přetl.	0,627
Dopravní množství ve výtl.	t/h	220
Průtok	m ³ /h	241,97
Celková dopravní výška	m	2029,3
	MPa	18,9
Koncový tlak čerpadla	MPa přetl.	18,72
Účinnost	%	78,62
Příkon	kW	1543,1
Otáčky čerpadla	min ⁻¹	2857

Tabulka 11.1

Smysl otáčení ve směru hodinových ručiček při pohledu ze strany pohonu.

Provozní bod

Jmenovitý provozní bod - Meziodběr otevřený

Koncový tlak čerpadla	MPa přetl.	18,35	
Celkový příkon	kW	1584,6	
Celková účinnost	%	79,32	
Stupně		1. - 5.	6. -12.
Průtok	m ³ /h	274,96	241,97
	t/h	250	220
Průtok v meziodběru	t/h	30	
Dopravní výška	m	804,85	1988
	MPa přetl.	7,176	17,73
Tlak v meziodběru	MPa přetl.	7,803	
Tlak v meziodběru při Q=0	MPa přetl.	9,028 ve výtlaču	
Účinnost	%	80,29	
Příkon	kW	684,15	900,42

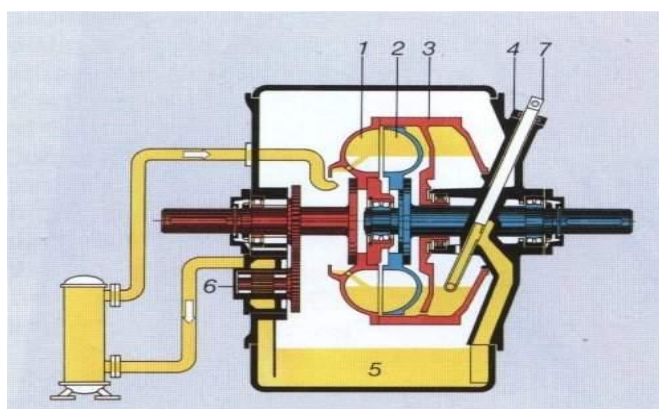
Tabulka 11.2

11.1. Hydraulická spojka

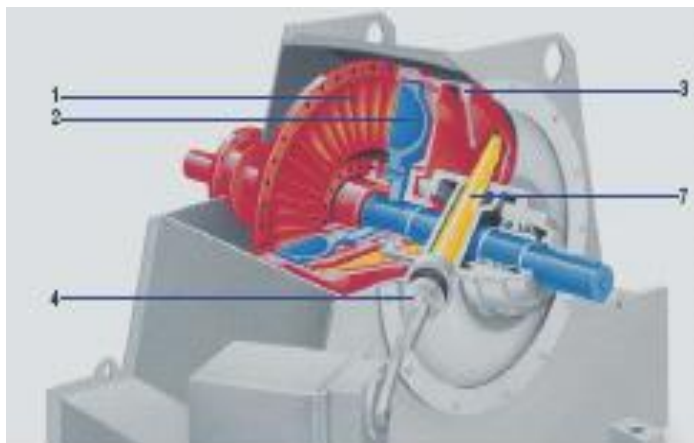
Pro regulaci čerpadla byla použita hydraulická spojka firmy Voith, typu **562 SVTL 12**.

Spoje typu SVTL jsou uloženy v tunelové konstrukci. Rotujících částí jsou umístěny v uzavřené skříni a olejové lázni. Hlavní motor hnacího stroje je napojen na turbo spojku přes hřídel spojky. Olejová nádrž je integrována do konstrukce spojky a olejové čerpadlo je poháněné vstupním hřídelem. Hlavní hřídel je uložena v ložiscích a mazaná tlakovým olejem^[7].

Vyobrazení řezu hydraulické spojky je na obrázku (11.1.1 a 11.1.2)



Obrázek 11.1.1 – hydraulická spojka Voith; 1- primární kolo, 2- sekundární kolo, 3- obal, 4- uzávěr čerpací trubice, 5- jímka oleje, 6- olejové čerpadlo, 7- čerpací trubice.^[7]



Obrázek 11.1.2- hydraulická spojka Voith; 1- primární kolo, 2- sekundární kolo, 3- obal, 4- uzávěr čerpací trubice, 7- čerpací trubice.^[7]

Konstruovaná pro parametry dle tabulky 11.1.1.

Přenášený výkon	kW	1850
Otáčky	min ⁻¹	2876
Skluz	%	2,7
Rozsah regulace	min ⁻¹	2000 – 2896
Ložiska		kluzná mazaná tlakovým olejem
Vibrace		podle Voith Work Sheet c 081
Hlučnost		nepřevyší 85 dB(A) podle DIN 45635, Part 1 a 23 a EN ISO 3744
Hmotnost	kg	3136
Akumulátor		ABB typ Contrac PME1120A1

11.2. Pohon čerpadla

Pohon čerpadla byl zajištěn asynchronním motorem **Siemens, typu IRN4 456-2HE60-Z**.

Motory řady H – Compaq - PLUS jsou modulární motory s možností různých druhů chlazení, krytí a volitelných rozšíření. Dodávají se ve výkonech do 6MW a díky použití kvalitních materiálů zajišťují vysokou spolehlivost i při náročných zatěžovacích cyklech a zároveň minimální rozměry při daných výkonech^[7].

Konstruovaný pro parametry dle tabulky 11.2.1.

Příkon	kW	1850
Napětí	kV	6
Frekvence	Hz	50
Zatížení	S1	
Tvar	1M1001	
Krytí	IP55	
Chlazení		IC 81 W (vodní)
Otáčky	min ⁻¹	2976
Třída izolace		F/oteplení ve třídě B,
Vybavení	6 x	teploměr Pt100 ve vnutí
	2 x	Pt100 ložiska
Ložiska		kluzná mazaná tlakovým olejem
Vibrace		dle IEC 60034-44 tabulka 1 stupeň A
Hlučnost při chodu na prázdko	dB	70, tol.±3 dB(A)

Tabulka 11.2.1

12. Ověřované hodnoty

Ověřovaný bod horizontálního článkového napájecího čerpadla KSB, typu HGC 5/12, dle výrobce je určen těmito hodnotami veličin:

$$Q_G = 220 \text{ t.h}^{-1}$$

$$H_G = 2029,3 \text{ m}$$

$$p_{VG} = 18,09 \text{ MPa}$$

$$n_{sp} = 2857 \text{ min}^{-1}$$

13. Zpracování hodnot

Měření tepelně – technických veličin provedla katedra energetiky v místě provozu, od které jsem převzal naměřené hodnoty a dále zpracoval.

Časový úsek měření byl v celkové délce 114 minut, hodnoty byly snímány a archivovány v intervalu odečtu 10 s. Byly změřeny tyto veličiny tlak ve výtlačku p_{nv} [MPa], průtok Q_{nv} [t.h⁻¹] ve výtlačku a otáčky čerpadla n_v [min⁻¹] v závislosti na čase.

Časové průběhy těchto veličin, jsou uvedeny v grafu viz příloha č. 1. Schéma vyobrazení odběrových míst je v příloze č. 4.

Zpracování hodnot naměřených veličin bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 9906, „Hydrodynamická čerpadla-Přejímací zkoušky hydraulických výkonových parametrů-Stupně přesnosti 1 a 2“.

13.1. Vyhodnocení měření

Na základě naměřených hodnot, jsem zpracoval graf průtoku $Q = f(t)$, který je sestaven v příloze č. 2. Z těchto hodnot jsou z grafu vybrány čtyři časové úseky v délce 10 minut (čtverce červené barvy), pro účely zkoušky, vyobrazení vybraných časových úseku je taktéž v příloze č. 2.

Hodnoty naměřených veličin z vybraných časových úseku jsou zprůměrovány a uvedeny v tabulce 13.1.1.

pořadové		Průtok	Dopravní	Otáčky	Tlak
číslo	časový úsek	výtlač	výška		výtlač
		Q_{n_v}	H_n	n_v	p_{n_v}
		$t \cdot h^{-1}$	m	min^{-1}	MPa
č. 1	12:09:20 - 12:19:20	176,8	1683	2551	15,57
č. 2	12:23:50 - 12:33:50	191,9	1687	2579	15,61
č. 3	12:38:10 - 12:48:10	209,1	1694	2613	15,67
č. 4	13:07:00 - 13:17:00	219,1	1693	2633	15,65

Tabulka 13.1.1

Ověřování napájecího čerpadla v ověřovaném bodě viz kapitola (12), má být dosaženo při specifikovaných otáčkách n_{sp} podle kapitoly (9).

Všechny naměřené hodnoty při otáčkách n , které se budou odchylovat od specifikovaných otáček n_{sp} se přepočítají na specifikované otáčky n_{sp} dle kapitoly (9).

V tabulce 13.2 jsou uvedeny přepočtené hodnoty na specifikované otáčky pro průtok $Q [t \cdot h^{-1}]$ a dopravní výšku $H [m]$:

pořadové		Průtok	Dopravní
číslo	časový úsek	výtlač	výška
		Q	H
		$t \cdot h^{-1}$	m
č. 1	12:09:20 - 12:19:20	198,08	2111
č. 2	12:23:50 - 12:33:50	212,67	2071
č. 3	12:38:10 - 12:48:10	228,53	2026
č. 4	13:07:00 - 13:17:00	237,69	1992

Tabulka 13.2

Z přepočtených hodnot na specifické otáčky jsem zpracoval graf naměřené charakteristiky $H = f(Q)$, viz příloha č. 3 (modrá barva), do tohoto grafu je ještě zanesen ověřovaný bod čerpadla (černé barvy), uváděný výrobcem/dodavatelem viz kapitola (12).

13.2. Určení tolerančního kříže

Následně jsem podle kapitoly (10.2) určil hodnoty tolerančních součinitelů kříže v kladné a záporné části x-ové osy, stejným postupem jsou určeny kladné a záporné hodnoty tolerančních součinitelů y-ové osy. Pro ověřované napájecí čerpadlo se stupněm přesnosti 2, odpovídá pro osu x hodnota $\pm 8 \%$ a pro osu y hodnota $\pm 5 \%$.

Na základě určení těchto součinitelů, byl vypočten rozměr tolerančního kříže, který vychází z hodnot ověřovaného bodu, tento je určen v kapitole (12). Těmto uvedeným hodnotám odpovídá rozměr pro charakteristiku $H = f(Q)$:

v ose x ... $\pm 17,6 \ t \cdot h^{-1}$, od ověřovaného bodu,

v ose y ... $\pm 101,465 \ m$, od ověřovaného bodu.

Takto určený toleranční kříž je sestrojen v příloze č. 3 (červené barvy), kde je společně s naměřenou charakteristikou čerpadla a ověřovaným bodem.

14. Závěr

Z vyhodnocených naměřených hodnot H [m] a Q [t.h⁻¹] pro specifikované otáčky, které jsou uvedeny v kapitole (13.1) je vytvořena v grafu, provozní charakteristika ověřovaného čerpadla (modrá barva).

Do tohoto grafu je také vynesena ověřovaný bod čerpadla (černá barva), uváděný výrobcem/dodavatelem viz kapitola (12). Následně je do tohoto grafu vynesena toleranční kříž (červená barva), jehož rozměry jsou určeny v kapitole (13.2), se středem v garantovaném bodě.

Proto, abychom ověřili, zda napájecí čerpadlo splnilo, ověřované hodnoty veličin stačí, aby naměřená provozní charakteristika čerpadla protнула některou z os tolerančního kříže.

Všechny výše uvedené veličiny jsou vyobrazeny v příloze č. 3.

Na základě porovnání naměřené provozní charakteristiky a tolerančního kříže zobrazené v příloze č. 3, můžeme uvést závěr, že ověřované napájecí čerpadlo KSB, typ HGC 5/12 splnilo ověřované hodnoty uváděné výrobcem / dodavatelem.

V závěru bych chtěl poděkovat za vedení při vypracování vedoucímu bakalářské práce p. Ing. Radim Janalík, CSc.

15. Seznam použité literatury:

[1] Česká technická norma ČSN EN ISO 9906, *Hydrodynamická čerpadla-Přejímací zkoušky hydraulických výkonových parametrů-Stupně přesnosti 1 a 2*, rok vydání 2000, 72 stran, Český normalizační institut, Praha 10.

[2] Česká technická norma ČSN EN ISO 5167-1, *Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu*, rok vydání 2003, 36 stran, Český normalizační institut, Praha 10.

[3] Akademik Václav Krouza, *Čerpadla odstředivá a jim příbuzná*, č. 88 033/55-CII/1, rok vydání 1956, Nakladatelství československé akademie věd, Praha.

[4] Rajniak a kolektiv, *Tepelno-energetické a emisné meranie*, Ister Science, 1997.

[5] Prof. Ing. Jaroslav Bláha, DrSc., Prof. Ing. Karel Brada, DrSc., *Příručka čerpací techniky*, ČVUT Praha, 1997, ISBN 80-01-01626-9.

[6] informativní letáky a materiály firmy Sigma Lutín, *napájecí vysokotlaké čerpadlo KHN – 300*, 8 stran.

[7] Informativní materiály o firmě Voith, Siemens, www.voithturbo.com, www.variable-speed.com, www1.siemens.cz